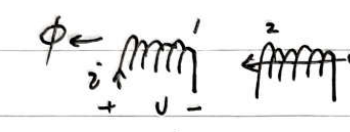
第十章

含有耦合电感的电路

第10章 含有耦合电感的电路 磁链 $\psi = N\phi$

10.1 互感 右手定则：u i 关联参考方向



ϕ_2：互感磁通，两线圈磁耦合

空心线圈 ψ 与 i 成正比 ψ_{12} 作用于1 产生于2 M_{12} 作用于 施感

当只有一线圈 $\psi_1 = \psi_{11} = L_1 i_1$ L_1：自感系数 单位(H)

二线圈：自感磁通±互感磁通 $\psi_1 = \psi_{11} \pm \psi_{12} = L_1 i_1 \pm M_{12} i_2$

M_2：互感系数 $\psi_2 = \pm\psi_{21} + \psi_{22} = \pm M_{21} i_1 + L_2 i_2$

① $M_{12} = M_{21}$，M值与电流无关，L前总正，M前正负待定

耦合系数 $k \overset{\text{def}}{=} \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \le 1$ 耦合的紧密程度

$k=1$ 全耦合，漏磁 $\phi_{s1} = \phi_{s2} = 0$，$\phi_{11} = \phi_{21}$ $\phi_{22} = \phi_{12}$

$K = \sqrt{\frac{\psi_{12}}{\psi_{11}} \frac{\psi_{21}}{\psi_{22}}}$ $\frac{\psi_{12}}{\psi_{11}}$ 和 $\frac{\psi_{21}}{\psi_{22}}$ 不同时>1

耦合电感上的电压电流关系

自感电压 $u_{11} = L_1 \frac{di_1}{dt}$ 互感电压 $u_{21} = M \frac{di_1}{dt}$

两线圈同时通以时变电流时，每个线圈电压均包含 u_{11} 和 u_{21}

$$\begin{cases} u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = \pm M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases} \qquad \begin{cases} \dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 \pm j\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \pm j\omega M \dot{I}_1 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

两线圈的自磁链和互磁链相助，互感电压取正，否负

互感线圈的同名端

两电流分别从两线圈流入/流出，磁通加强后，则这两个对应端子称为同名端

KOKUYO

确定同名端的方法：

(1) 两线圈从同名端入/出，相互增强

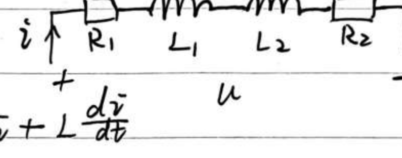
(2) 随时间↑电流从一端流入，会使另一线圈相应同名端电位↑

(3) 实验法，用(2)的方法测试得出

由同名端及 u i 参考方向确定互感线圈的特性方程

10.2 含有耦合电感电路的计算

1. 耦合电感的串联



①同向串联 $u = Ri + L\frac{di}{dt}$

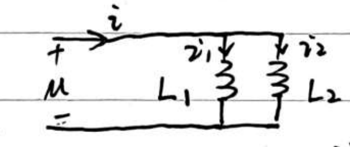
$R = R_1 + R_2$ $L = L_1 + L_2 + 2M$ $(L = 4M)$ $(L \geq 0)$

②反向串联 $R = R_1 + R_2$ $L = L_1 + L_2 - 2M$ $(L = 0)$

互感的测量方法 $M = \frac{L_顺 - L_反}{4}$，当全耦合且 $L_1 = L_2$ $M = \sqrt{L_1 L_2} = L_1 = L_2$

在正弦激励下 $\dot{U} = (R_1 + R_2)\dot{I} + j\omega(L_1 + L_2 \pm 2M)\dot{I}$

2. 耦合电感的并联



①同侧并联

$u = \frac{(L_1 L_2 - M^2)}{L_1 + L_2 - 2M} \frac{di}{dt}$ $L_{eq} = \frac{(L_1 L_2 - M^2)}{L_1 + L_2 - 2M} \geq 0$

全耦合 $L_1 L_2 = M^2$ 当 $L_1 \neq L_2$，$L_{eq} = 0$（短）

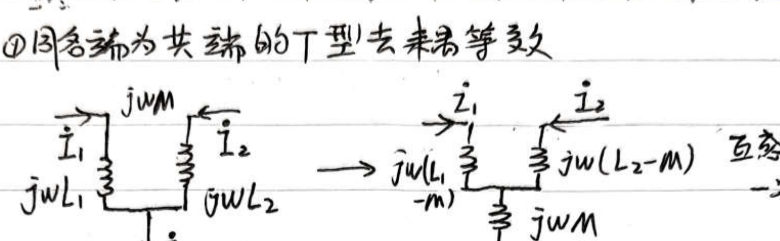
当 $L_1 = L_2 = L$，$L_{eq} = L$ 导线粗

②异侧并联

$u = \frac{(L_1 L_2 - M^2)}{L_1 + L_2 + 2M} \frac{di}{dt}$ $L_{eq} = \frac{(L_1 L_2 - M^2)}{L_1 + L_2 + 2M} \geq 0$

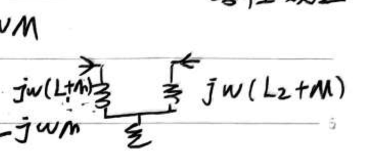
3. 耦合电感的T型等效

①同名端为共端的T型去耦等效

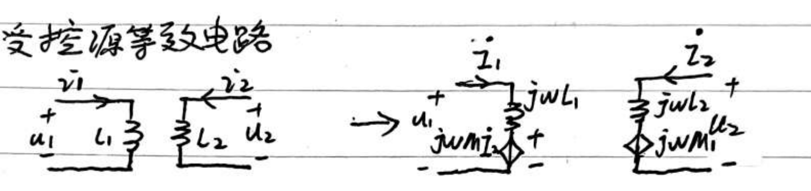


互感削弱 —容性效应

②异名端为共端的T型去耦等效

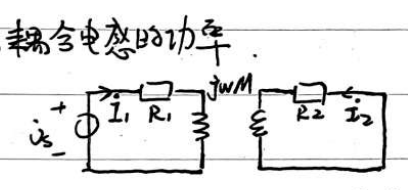


4. 受控源等效电路



$$\begin{cases} \dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = j\omega M \dot{I}_1 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

10.3 耦合电感的功率



求复功率 $\bar{S}_1 = \dot{U}_S \dot{I}_1^* = (R_1 + j\omega L_1)I_1^2 + j\omega M \dot{I}_2 \dot{I}_1^*$

$\bar{S}_2 = 0 = j\omega M \dot{I}_1 \dot{I}_2^* + (R_2 + j\omega L_2) I_2^2$

$j\omega M \dot{I}_2 \dot{I}_1^*$ $j\omega M \dot{I}_1 \dot{I}_2^*$ 互感电压耦合的复功率

两个互感复功率虚部同号，实部异号。有功功率异号（一端入一端出）

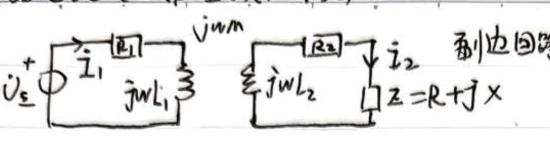
无功功率同号，表明其对两个耦合线圈影响性质相同

10.4 变压器原理

当变压器线圈的芯子为非铁磁材料时，称空心变压器

Date

1. 变压器电路（工作在线性段）



2. 分析方法

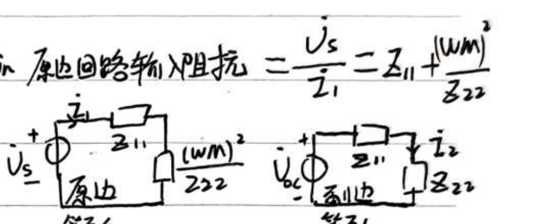
①方程法分析 令 $Z_{11} = R_1 + j\omega L_1$ $Z_{22} = (R_2 + R) + j(\omega L_2 + X)$

$\therefore Z_{11}\dot{I}_1 - j\omega M \dot{I}_2 = \dot{U}_S$

$-j\omega M \dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 = 0$

$\therefore \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_S}{Z_{11} + \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}}}$ Z_{in} 原边回路输入阻抗 $= \frac{\dot{U}_S}{\dot{I}_1} = Z_{11} + \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}}$

$\dot{I}_2 = \frac{j\omega M \dot{U}_S}{Z_{11}} \frac{1}{Z_{22} + \frac{(\omega M)^2}{Z_{11}}}$



②等效电路法分析

原边等效电路

记 $Z_l = \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}} = R_l + jX_l$

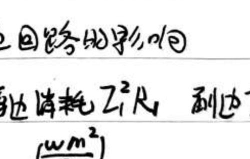
Z_l：副边对原边引入阻抗 R_l：引入电抗（恒正，副边靠原边供功率）X_l：引入电抗（负反映引入电抗与副边电抗性质相反） 副边开路 $Z_{in} = Z_{11}$

引入阻抗反映了副边回路对原边回路的影响

电源发出有功 $P = I_1^2(R_1 + R_l)$ 原边消耗 $I_1^2 R_1$ 副边 $I_1^2 R_l$

副边等效电路

$\dot{U}_{oc} = \frac{j\omega M \dot{U}_S}{Z_{11}} = j\omega M \dot{I}_1$



③去耦等效分析

10.5 理想变压器

①无损耗：导线无电阻，磁导率→∞

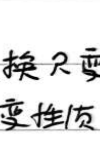
②全耦合：$k=1$ $M = \sqrt{L_1 L_2}$ $\frac{\psi_1}{\psi_2} = \frac{u_1}{u_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$（常数）

③参数无限大：L_1 L_2 $M \Rightarrow \infty$，但 $\sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = n$.

2. 理想变压器的主要性能

①变压关系 $\phi_1 = \phi_2 = \phi_{11} + \phi_{22} = \phi$

$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} = n = 1$（匝数比）

若  $\frac{u_1}{u_2} = -n$

②变流关系 $\frac{i_1}{i_2} = -\frac{1}{n}$（同时流入同名端）

（一出一入）$\rightarrow$ $\frac{i_1}{i_2} = \frac{1}{n}$

③变阻抗关系 $\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = n^2 Z$ $\rightarrow$ 阻抗变换只变大小不变性质

④功率性质 $P = 0$ 理想变压不储/耗能，只传信号能量，无记忆

本笔记在https://github.com/dydcyy-gh/study-notes开源